

УДК 629.4.02.001.76

*О. В. Фомін, д.т.н., доцент  
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний  
університет інфраструктури та технологій)*

*А. А. Стецько,  
(старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний  
університет інфраструктури та технологій)*

### **АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СКЛАДОВИХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СПРЯМОВАНОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ**

*У статті представлені особливості та результати проведених досліджень з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану (на основі принципу попередніх напружень). На основі аналізу експлуатаційних пошкоджень, конструктивної доцільності та технологічних можливостей потенційно обґрунтовано місця створення попередніх напружень та систематизовано у вигляді структурно-декомпозиційної схеми. Науково обґрунтовано доцільність та способи реалізації спрямованого напружено-деформованого стану для вагонних конструкцій. Схематизовано відповідні результати теоретично на прикладі вагона-цистерни, підтверджено доцільність реалізації запропонованого наукового підходу для проектування спрямованого напружено-деформованого стану вантажних вагонів.*

*Ключові слова: транспортна механіка, вантажний вагон, спрямований напружено-деформований стан, несучі системи, попередньо напружені складові.*

**Постановка проблеми.** Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 рр., яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259 передбачено оновлення вантажного вагонного парку новими та модернізованими моделями вантажних вагонів вітчизняного виробництва з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників [1-5]. Для рішення вищезазначеного актуального науково-технічного завдання розгортаються науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, які спрямовані на зниження матеріалоємності, собівартості виготовлення, ремонту та експлуатації вітчизняних спеціалізованих вантажних вагонів, підвищення їх вантажопідйомності, осьового навантаження, експлуатаційної надійності, подовження терміну служби та міжремонтних пробігів тощо. Разом з цим конструкція вантажного вагона є складною технічною системою, при проектуванні якої необхідно враховувати специфіку її роботи (експлуатаційні та ремонтні навантаження, погодні чинники і т. п.). Тому на сучасному рівні вирішувати вищезазначені задачі доцільно з використанням методів теорії оптимізації, реалізуючи системний підхід.

© Фомін О. В., Стецько А. А., 2018

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для вирішення вищезазначеного актуального науково-технічного завдання розгортаються науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи [1-5]. Вони спрямовані на зниження матеріалоемності, собівартості виготовлення, ремонту та експлуатації вітчизняних вантажних вагонів на стадіях життєвого циклу, подовження терміну служби та міжремонтних пробігів тощо. На сучасному рівні вирішувати вищезазначені задачі доцільно з використанням нових методів конструкторської ідеології, реалізуючи системний підхід [5, 6]. При цьому особлива роль відводиться розробці та використанню формалізованих описань запропонованих новітніх підходів і способів проектування вантажних вагонів [7, 8], які б враховували взаємозв'язок окремих їх елементів і були адоптовані до сучасних програмних комплексів. Результати аналізу успішного вирішення аналогічних проблем в інших галузях створення несучих конструкцій [9, 10] (аеротехніки, ракетобудування, нафтогазова, паливна, будівельна та ін.), обумовили перспективність впровадження попередньо напружених вузлів, конструкцій [11] та вантажних вагонів [1-5]. Проте не було описано в яких саме складових вантажних вагонів та яким способом можна створити спрямований напружено-деформований стан. Аналіз чисельної наукової та спеціально-технічної літератури з профілю питань, що розглядаються, засвідчив про відсутність змістовної інформації з розроблення та використання наукового підходу зі створення спрямованого напружено-деформованого стану конструкцій вантажних вагонів та їх складових.

**Мета статі** – висвітлення результатів досліджень з визначення складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану та найефективніших способів його забезпечення, а також схематизації відповідних результатів. Сказане проводилось на основі аналізу конструктивних особливостей та експлуатаційних пошкоджень вантажних вагонів. На прикладі вагона-цистерни представлено особливості практичної реалізації запропонованого наукового підходу для проектування несучих систем вантажних вагонів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В рамках проведених досліджень аналізувались основні експлуатаційні пошкодження вантажних вагонів, їх конструктивні зв'язки та особливості виконання складових.

Сучасний парк вантажних вагонів характеризується різноманіттям їх типів і конструкцій, що викликано необхідністю задоволення різних вимог учасників їх життєвого циклу. В основному парк вантажних вагонів складається з: напіввагонів, вагонів-платформ, вагонів-цистерн, вагонів-хоперів, критих, ізотермічних та вагонів спеціального призначення, а також контейнерів загального та спеціального призначення. При цьому основним модулем вантажних вагонів, від конструкції якого залежить його тип, є модуль кузова [3-5], який можна класифікувати за такими ознаками:

залежно від роду перевезених вантажів – відкриті та закриті;

залежно від конструкції рами – з суцільною хребтовою балкою, несучільною хребтовою балкою та без хребтової балки;

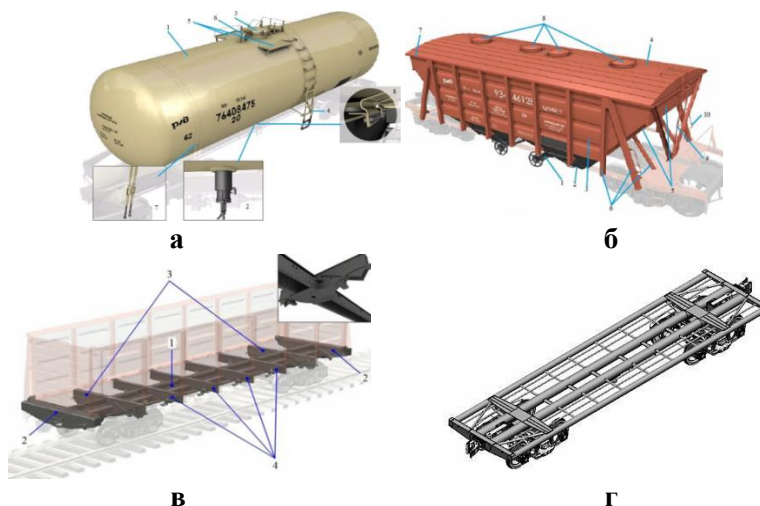
залежно від конструкції елементів для завантаження і вивантаження вантажів – з дверима на бічних стінах або з люками даху і підлоги.

Конструкція кузова того чи іншого типу вагона визначається його призначенням [12], тому кузова різних типів вагонів за своєю конструкцією досить різні, але у всіх багато спільного.

Рама слугує основою кузова, на ній кріпиться автозчепне і гальмове обладнання ва-

гона. Вона через п'ятники опирається на ходові частини і сприймає всі види навантажень, що діють на кузов. Рама повинна володіти достатньою міцністю і жорсткістю, бути простою за конструкцією, надійною в експлуатації, доступною для технічного огляду. У всіх типів вагонів рама складається з трьох основних несучих балок: хребтової, бічних поздовжніх, набору поперечних (кінцевих, шворневих та проміжних).

Далі графічно зображено кузова та рами основних типів вантажних вагонів (рис. 1).



*Рис. 1. Графічне зображення кузовів та рам існуючих та перспективних вантажних вагонів:*

*а* – котел вагона-цистерни; *б* – кузов вагона-хопера; *в* – рама напіввагона;  
*г* – вагон-платформа перспективна з рамою виконаною з труб

Хребтова балка – слугує для кріплення на ній автозчепного та гальмового обладнання. Через автозчепний пристрій вона передає поздовжні сили на інші вагони. Але оскільки вона жорстко пов'язана і з іншими елементами кузова, то поряд з поздовжніми сприймає також і вертикальні сили. Її виготовляють з міцних прокатних Z-подібних, швелерних і двотаврових профілів.

Залізничний транспорт оперує великою кількістю контейнерів. У загальному випадку контейнери (рис. 2) можна класифікувати, як знімний (універсальний рис. 2, а) чи спеціальний (рис. 2, б) модуль кузова вантажного вагона.



*Рис. 2. Загальний вигляд контейнера:  
 а – універсальний; б – контейнер-цистерна*

На підставі комплексного аналізу [1, 3, 7, 8] експлуатаційних особливостей вантажних вагонів можна зробити такі висновки. Як основні види експлуатаційних пошкоджень вантажних вагонів [13] можна виділити такі несправності кузова та рами (рис. 3), які можливо подолати за допомогою впровадження певних способів попереднього напруження.

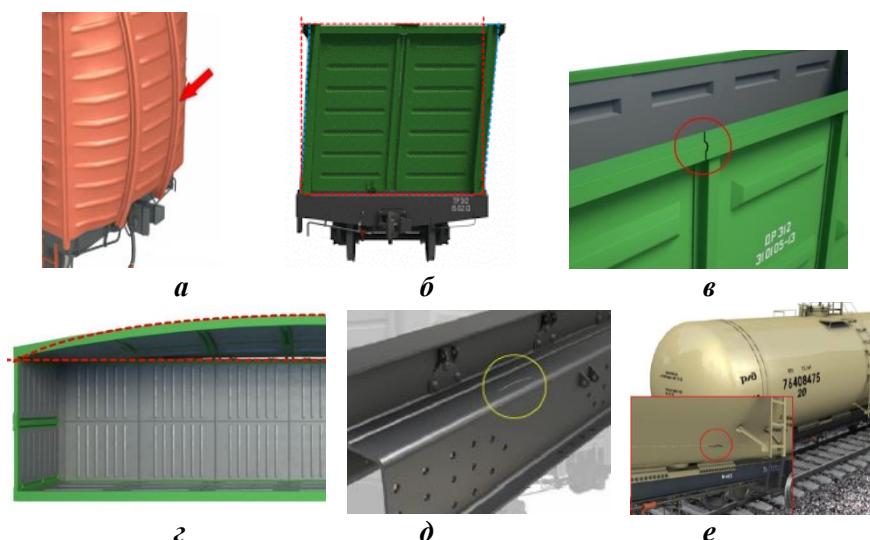


Рис. 3. Несправності кузова та рами вантажних вагонів, що виникають під час експлуатації:

*a* – вигин торцевої стіни назовні; *б* – перекіс кузова більше 75 мм; *в* – злам і тріщини у верхній обв'язці; *г* – розширення кузова більше 75 мм на один бік; *д* – поздовжні тріщини в балках рами довжиною більше 300 мм; *е* – тріщина шва котла

Впровадження нових концептів проривних ідей конструкторської ідеології несучих модулів вантажних вагонів дозволить системно підвищити ефективність вантажоперевезень залізничним транспортом, що охарактеризується низкою переваг для інфраструктури, виробників, інвестиційної привабливості, операторів руху, експлуатації, екології.

На основі наявного у авторів досвіду успішного створення теоретичних положень, методологічних основ і практичних засобів для розробки інноваційних об'єктів транспортного машинобудування пропонується такі робочі гіпотези удосконалення конструкцій вантажних вагонів [5]:

- перехід від статично визначених до статично невизначених конструкцій ресурсовизначальних зон і зон можливих руйнувань з метою зниження результуючих напружень і перерозподілу напружень;
- створення конструкцій з навантаженими вузлами без надлишкових зв'язків, запасів міцності і жорсткості, наприклад за рахунок впровадження гнучких зв'язків;
- створення конструктивних схем, де несучі елементи максимально можливо працюють на стиск – розтяг замість вигину і кручення;
- створення несучих елементів як зчленованих несучих оболонок з можливістю формування «сендвіч»-панелей з спрямованими властивостями;
- створення рівнонапруженості і попередньо напружених конструкцій несучих елементів з метою зниження рівня напружень і, як наслідок, зниження маси конструкції;

– впровадження страхуючих елементів з метою забезпечення тимчасової працездатності елементів конструкції при аварійних ситуаціях;

– впровадження мультифункціональних елементів, зокрема пружно-дисипативних несучих елементів, що поєднують в собі функції жорстких з'єднань елементів з пружними і демпферами з метою значного зниження маси, кількості елементів конструкції, з'єднань;

– створення конструкцій з індикаторами критичних станів і можливістю автономної самодіагностики.

При цьому застосовані загальноприйняті методи формування і аналізу конструкцій та спрямованих напружено-деформованих станів елементів. Для формування схеми потенційних складових та способів спрямованого напружено-деформованого стану застосовувались принципи блочності, варіантності та ієрархічності досліджень технічних систем.

Принцип *блочності* – забезпечує розділення відповідних схематичних описань на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків з можливостями їхнього роздільного дослідження.

Принцип *варіантності* – обумовлює розроблення фонду варіантів схематичних виконань, відповідно з прийнятими до уваги напрямками дослідження з виділенням існуючих та перспективних технічних рішень виконання їх складових.

Принцип *ієрархічності* – передбачає структурування схематичного описання за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів.

Зосереджено увагу над авторською гіпотезою про доцільність впровадження в конструкції вантажних вагонів попередньо напружених несучих елементів. Під попереднім напруженням конструкцій розуміють різноманітні прийоми штучного регулювання напружень (керування напружено-деформованим станом) в конструкціях для підвищення їх ефективності. Втручання в природну роботу об'єкта для спрямованої зміни його потенційної енергії деформації може відбуватися на різних стадіях: в процесі виготовлення, при монтажі, при експлуатації або модернізації і на різних рівнях: конструктивних елементів або вузлів, модулів і системи в цілому.

Критеріями ефективності застосування попереднього напруження в металоконструкціях можуть бути як економічні вимоги зі зниження маси і вартості об'єктів, так і технологічні (підвищення жорсткості, збереження форми елементів несучих конструкцій, зміна динамічних характеристик, підвищення тріщиностійкості та зменшення втомної міцності і т.д.). В цьому сенсі металоконструкції мають більш широкі можливості застосування попереднього напруження, ніж залізобетонні і сталезалізобетонні, де цей прийом розвинувся, перш за все, як засіб боротьби з малою міцністю бетону при розтягуванні.

Для класифікації щодо використання в вантажному вагонобудуванні спрямованого напружено-деформованого стану можна виокремити такі способи створення попереднього напруження:

1) обтиснення окремих розтягнутих, стиснених і зігнутих порожнистих/суцільних замкнутих/незамкнутих профілів і цілих елементів (балок, рам) затяжками різного виду з високоміцних матеріалів;

2) попередній пружний вигин окремих елементів з наступним зварюванням їх в зігнутому стані в цілий конструктивний елемент (балку);

3) попередня витяжка цілих конструкцій або окремих їх частин з метою збільшення області пружної роботи матеріалу;

4) попередній натяг окремих включених гнучких стрижнів (троси, пучки дроту, арматура) з метою сприйняття ними стискають зусиль;

5) тимчасове завантаження в процесі монтажу або виготовлення окремих елементів конструкцій або всієї конструкції з подальшим закріпленням конструкції під навантаженням для раціонального розподілу зусиль і підвищення її жорсткості та стійкості;

6) створення попереднього напруження в прокатних профілях шляхом завальцювання в них попередньо натягнутого високоміцного дроту (наприклад, при створенні гнучких вагонних з'єднань);

7) попереднє нагрівання/охолодження окремих деталей з метою збільшення/зменшення їх геометричних розмірів.

Як приклад застосування для вантажних вагонів розглянемо попереднє нагрівання, яке може використовуватися для того, щоб запобігати утворенню тріщин і/або забезпечити потрібні механічні властивості, наприклад, ударну в'язкість. Попереднє нагрівання можна виконувати в печі або за допомогою нагрівальних пальників, електричних пластинчастих радіаторів або індукційних чи променистих нагрівачів.

У зв'язку з різноманітністю конструктивних схем вагонів варто розробити класифікацію, яка зв'яже та систематизує характер впровадження попереднього напруження з особливостями (типажем) вантажних вагонів їх універсальних та специфічних складових. Блочно-ієрархічна схема потенційних складових впровадження попереднього напруження в несучі системи вантажних вагонів подана на рис. 4.

Як видно з схеми формалізоване описання потенційних складових впровадження передбачає виділення чотирьох ієрархічних рівнів:

**I рівень** містить «Тип вагона», який передбачає впровадження основних типів вагонів. Рівень в свою чергу поділяється на вагони з стаціонарними несучими системами ( $V_1$  – тип «Напіввагон»,  $V_2$  – тип «Критий вагон»,  $V_3$  – тип «Вагон-цистерна»,  $V_4$  – тип «Вагон-платформа» та  $V_5$  – тип «Вагон-хопер») та з з'ємними несучими системами ( $V_6$  – тип «Контейнер»). При цьому тип «Напіввагон» включає універсальні та спеціалізовані напіввагони; тип «Критий вагон» – криті вагони звичайної конструкції та ізоітермічні вагони; тип «Вагон-цистерна» – 4-х та 8-ми вісні цистерни; тип «Вагон-платформа» – вагони-платформи звичайної конструкції з бортами та безбортові, скелетного типу для перевезення контейнерів та вагони-транспорттери; тип «Вагон-хопер» – вагони-хопери відкритого та закритого типу; тип «Контейнер» – універсальні та спеціалізовані контейнери.

**II рівень** містить «Модуль кузова».

Для типу  $V_1$  – «Напіввагон» доцільно в елементах:  $V_{121}$  – «Обв'язка верхня та нижня бічних стін» використати способи 1-7 (під способом 1-7 розуміють застосування способів разом або окремо один від одного);  $V_{122}$  – «Стійки бічних стін» – способи 1-7;  $V_{123}$  – «Горизонтальні пояси та обв'язування верхні стін торцевих» – способи 1-7;  $V_{124}$  – «Дуги даху для вагонів зі знімним дахом» – способи 1-7. Для типу  $V_2$  – «Критий вагон» доцільно в елементах:  $V_{221}$  – «Обв'язка верхня бічних стін» можливо використати способи 1-7;  $V_{222}$  – «Стійки бічних та торцевих стін» – способи 1-7;  $V_{223}$  – «Дуги даху» – способи 1-7. Для типу  $V_3$  – «Вагон-цистерна» доцільно в елементі  $V_{321}$  – «Котел» використати спосіб 4. Для типу  $V_4$  – «Вагон-платформа» не доцільно використовувати. Для типу  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементах:  $V_{521}$  – «Обв'язка верхня бічних стін» використати способи 1-7;  $V_{522}$  – «Стійки бічних стін»

– способи 1-7;  $V_{523}$  – «Дуги даху для закритого типу» – способи 1-7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер», а саме для типу контейнер-цистерна, доцільно в елементі  $V_{621}$  – «Котел» використати спосіб 4.

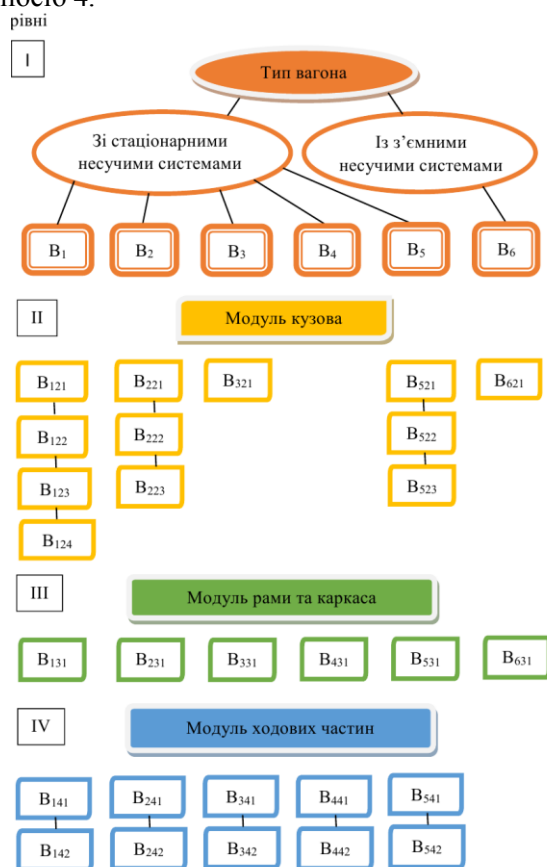


Рис. 4. Схема потенційних складових впровадження попереднього напруження в несучі системи вантажних вагонів

**III рівень** містить «Модуль рами та каркаса».

Для типу  $V_1$  – «Напіввагон» доцільно в елементі  $V_{131}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_2$  – «Критий вагон» доцільно в елементі  $V_{231}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_3$  – «Вагон-цистерна» доцільно в елементі  $V_{331}$  – «Балка хребтова 4-вісної цистерни» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_4$  – «Вагон-платформа» доцільно в елементі  $V_{431}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементі  $V_{531}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер» доцільно в елементі  $V_{631}$  – «Каркас контейнера» використовувати способи 1-7.

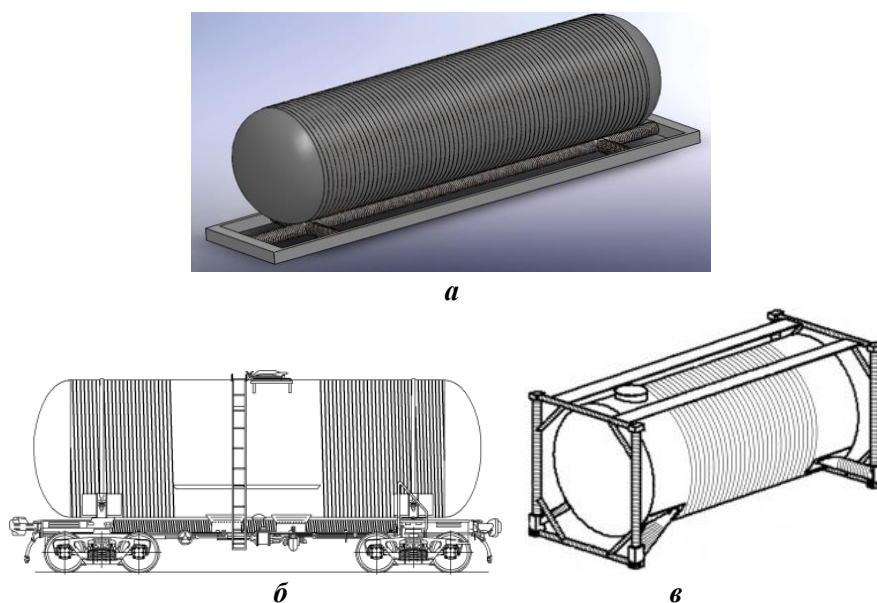
**IV рівень** містить «Модуль ходових частин».

Для типів  $V_1$  – «Напіввагон»,  $V_2$  – «Критий вагон»,  $V_3$  – «Вагон-цистерна»,  $V_4$  – «Вагон-платформа» та  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементах:  $V_{141}$ ,  $V_{241}$ ,  $V_{341}$ ,  $V_{441}$ ,  $V_{541}$  – «Балка надресорна та бічна» використати способи 1-7;  $V_{142}$ ,  $V_{242}$ ,  $V_{342}$ ,  $V_{442}$ ,  $V_{542}$

– «Затяжка під буксою (як візків типу Барбер)» – спосіб 4 і/або 7. Для типу В<sub>6</sub> – «Контейнер» не доцільно використовувати.

Провівши аналіз схеми потенційних складових впровадження попереднього напруження в несучі системи вантажних вагонів (рис. 4) стосовно до вагона-цистерни, видно, що рівень II «Модуль кузова» включає елемент В<sub>321</sub> – «Котел» для створення спрямованого напружено-деформованого стану якого доцільно використати спосіб 4 (навівання дроту по його поверхні), рівень II «Модуль рами та каркаса» містить елемент В<sub>331</sub> – «Балка хребтова 4-вісної цистерни» для якого існує можливість застосовувати способи 1-7 разом або окремо один від одного, рівень III «Модуль рами та каркаса» має елементи: В<sub>341</sub> – «Балка надресорна та бічна» – способи 1-7 та В<sub>351</sub> – «Затяжка під буксою (як візків типу Барбер)» – спосіб 4 і/або 7.

Проведені роботи для ряду вагонів (рис. 5). Дослідження (рис. 5, а) проводилися на сучасному програмному забезпеченні, де в вагоні-цистерні для перевезень особливо небезпечних вантажів на котел навіта проволока, балки хребтова та шворневі круглого перерізу з також навітою на них проволокою.



**Рис. 5. Досліджувані вагони:**  
**а** – комп'ютерна модель перспективного вагона-цистерни;  
**б** – запатентований вагон-цистерна; **в** – контейнер-цистерна

Для дослідження ефективності запропонованого технічного рішення проведено комплексний конструкторсько-розрахунковий аналіз.

У рамках таких робіт досліджувались особливості роботи конструктивних елементів і технологічність їх виготовлення та ремонтів. Попередній розрахунок показав такі позитивні результати: тара вагона знижена на 20 %; вантажопідйомність підвищена на 20 %; тріщиностійкість покращена на 30 %; вартість виготовлення знижена на 5 %; затрати на ремонт знижені на 25 %.



**Висновки та пропозиції.** Визначено найпоширеніші експлуатаційні пошкодження несучих систем вантажних вагонів: вигин торцевої стіни назовні, перекис та розширення кузова, злами, тріщини та інші несправності. Встановлено потенціальні місця для впровадження спрямованого напружено-деформованого стану в вантажних вагонах: елементи кузова (обв'язка верхня та нижня бічних стін, горизонтальні пояси та обв'язування верхні стін торцевих, дуги даху, стійки бічних та торцевих стін та інші), балки рами та ходові частини. Обґрунтовано доцільність впровадження та виокремлено сім способів реалізації спрямованого напружено-деформованого стану для вагонних конструкцій. Розроблена блочно-ієрархічна схема потенційних складових впровадження попереднього напруження в несучі системи вантажних вагонів. Проведено попередній розрахунок, який показав позитивні результати запропонованого наукового підходу щодо його застосування для конструкції вагонів-цистерн.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Fomin, O.V.* Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014 (5). P. 31–43.
2. Фомін, О.В. Використання профілю з перерізом у вигляді прямокутної труби в якості елементів каркасів кузовів залізничних напіввагонів / О.В Фомін, В.В Фомін // 36. наук. праць. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2012. – Вип.№.3(174)- С.244-250.
3. *Fomin, O.* Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
4. *Фомін, О.В.* Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип. 26-27. – С.137-147.
5. *Фомін, О.В.* Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – Вип. 6/2013 (83). – Кременчук, 2013. – С. 87–91.
6. *Panchenko, S.V.* Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2016. – Vol.2. – P. 93–99.
7. *Lovskaya, A.* The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / Alyona Lovskaya, Andrey Ryibin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Т. 3, N 7(81). – С. 4–8. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054/>
8. *Tartakovskiy, E.* Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems / Eduard Tartakovskiy, Oleksandr Gorobchenko, Artem Antonovych // Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies – 2016. – Т. 5, №3 (83). – P. 4–11. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80198>.
9. *Сулейменов, У. С.* Перспективы применения предварительного напряжения в металлических конструкциях нефтеперерабатывающей промышленности / У. С. Сулейменов, А. Б. Молдагалиев, Н. Ж. Жанабай, М. К. Укибаев // Наука и образование Южного Казахстана. – 2005. – № 3. – С. 51-53.
10. *Айнабеков, А. И.* Работа надземных предварительно напряженных трубопроводов при эксплуатационных нагрузках / А. И. Айнабеков, Б. Р. Арапов, У. С. Сулейменов // Наука и образование Южного Казахстана. – 2003. – № 35. – С. 12-14.
11. *Михайлов, В.В.* Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции / В.В. Михайлов // – М.: АСВ, 2002. – 256 с.
12. *Лукин, В.В.* Конструирование и расчёт вагонов. Учебник для вузов ж.-д. трасп. / Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов // – Москва: УМК МПС РФ, 2000. – 726 с.
13. *Устич, П.А.* Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / П.А. Устич, И.И. Хаба // – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.

**REFERENCES**

1. Fomin, O.V. *Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars*. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014 (5), pp. 31-43.
2. Fomin, O. *Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model* / O.V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
3. Fomin, O.V. *Using of rectangle profiles by elements of gondola bodies* / O.V. Fomin, V.V. Fomin, // Zbirnyk naukovykh prac' EU V. Dahl National University. 2012 (3(174)) – P. 244-250.
4. Fomin, O.V. *Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv* [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies.» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – S.137-147.
5. Fomin, O., *Theoretical bases of programmatic determination complex and use of mathematical models of wagon elements*.// Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 6, 2013, no. 83, pp. 87–91.
6. Panchenko, S.V., Butko, T.V., Prokhorchenko, A.V. and Parkhomenko, L.O. (2016), *Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises*. // Natsional'nyi Hirnychi Universytet. Naukovyi Visnyk, 2016 (2), pp. 93-99.
7. Lovskaya, A. and Ryibin, A., *The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision*. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(7(81)), pp. 4-8. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054
8. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, O. and Antonovych, A., *Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems*. // Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 2016, 5(3 (83)), pp. 4-11. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80198
9. Suleimenov, U.S., Moldagaliev, A.B., Zhanabai, N.Z., Ukibaev, M.K., *Prospects of prestress in the metal refining industry constructions*. // Science and Education of South Kazakhstan, 2005, 3. pp. 51-53.
10. Ainabekov, A.I., Arapov B.R., Suleimenov U.S., *Work aerial prepreliminarily strained pipelines under operational loads*. // Science and Education of South Kazakhstan, 2003, 35, pp. 12-14.
11. Mikhailov, V.V., *Prestressed combined and cable-stayed design*. – Moscow, Russia, 2002.
12. Lukin, V.V., Koturanov, V.N., Khokhlov, A.A. and Anisimov P.S., *Design and calculation of cars* [Textbook for high school's railway trans.]. – Moscow, Russia, 2000.
13. Ustich, P.A. and Haba I.I., *Wagon economy* [Textbook for universities railway transport]. – Moscow, Russia, 2003.

**Алексей Фомин, д.т.н., доц.,**  
**(профессор каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий)**  
**Антон Стецко**  
**(старший преподаватель каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий)**

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ  
ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАПРАВЛЕННОГО  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

*В статье представлены особенности и результаты проведенных исследований по определению конструктивных составляющих грузовых вагонов для создания направленного напряженно-деформированного состояния (на основе принципа предварительных напряжений). На основе анализа эксплуатационных повреждений, конструктивной целесообразности и технологических возможностей потенциально обоснованно места создания предварительных напряжений и систематизированы в виде структурно-декомпозиционной схемы. Научно обоснована целесообразность и способы реализации направленного напряженно-деформированного состояния для вагонных конструкций. Схематизировано соответствующим образом.*

*щие результаты в теории и на примере вагона-цистерны, подтверждена целесообразность реализации предложенного научного подхода для проектирования направленного напряженно-деформированного состояния грузовых вагонов.*

*Ключевые слова:* транспортная механика, грузовой вагон, направленное напряженно-деформированное состояние, несущие системы, предварительно напряженные составляющие.

*Alexei Fomin, Ph.D., Associate Professor,*

*(Professor Department «Cars and Carriage Facilities» State University of Infrastructure and Technology)*

*Anton Stetsko,*

*(Senior Lecturer Department «Cars and Carriage Facilities» State University of Infrastructure and Technology)*

### **ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE LOAD CARGO CARDS FOR THE ESTABLISHMENT OF DIRECT STRESS-DEFORMED STATE**

*In the article presents the features and results of conducted researches on the definition of constructive components of freight wagons for creating a directional stress-strain state (based on the principle of previous stresses). On the basis of the analysis of operational damage, constructive feasibility and technological capabilities, the place of the previous stresses is potentially grounded and systematized in the form of a structural-decomposition scheme. The feasibility and methods of realization of the directed stress-deformed state for car designs are scientifically substantiated. The corresponding results are theoretically illustrated on the example of a tank-wagon, the feasibility of the proposed scientific approach for designing the directional stress-strain state of freight cars has been confirmed.*

*Keywords:* mechanical transport, cargo carriage, aiming mode of deformation, load-bearing systems, prestressed components.

**Стаття надійшла до редакції 17.09.2017 р.**